



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Patentschrift
⑩ DE 197 04 540 C 1

⑤1 Int. Cl.⁶:
F 02 C 9/48

②1 Aktenzeichen: 197 04 540.5-22
②2 Anmeldetag: 6. 2. 97
④3 Offenlegungstag: -
④5 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 23. 7. 98

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦3 Patentinhaber:
Siemens AG, 80333 München, DE

⑦2 Erfinder:
Hermann, Jakob, Dipl.-Ing., 82282
Oberweikertshofen, DE; Hantschk, Carl-Christian,
Dipl.-Ing., 81929 München, DE; Zangl, Peter,
Dipl.-Ing., 80796 München, DE; Orthmann, Armin,
Dipl.-Inform., 85609 Aschheim, DE; Vortmeyer,
Dieter, Prof. Dr.-Ing., 80638 München, DE

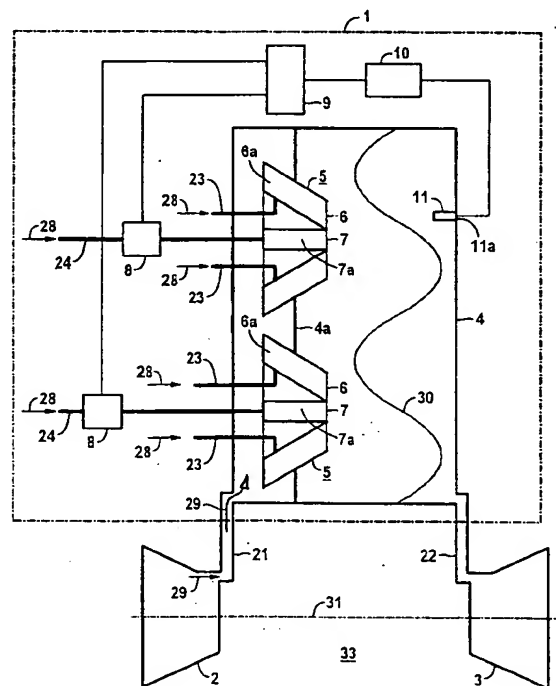
⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE 44 17 199 A1
US 53 03 542
US 44 06 117

DE-Z.: VDI-Berichte, Nr. 1090, 1993, "Aktive
Dämpfung selbsterregter
Brennkammerschwingungen",
J. Herrmann, D. Vortmeyer und S. Gleiß;

⑤4 Verfahren zur aktiven Dämpfung einer Verbrennungsschwingung und Verbrennungsvorrichtung

⑤7 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur aktiven Dämpfung einer Verbrennungsschwingung in einer Brennkammer (4) mit mindestens zwei Stellgliedern (8). Das Verfahren zeichnet sich dadurch aus, daß eine Ansteuerung der Stellglieder (8) eine Messung der Verbrennungsschwingung an weniger Stellen erfordert, als Stellglieder (8) vorhanden sind. Dies wird insbesondere durch Ausnutzung der Symmetrie einer akustischen Eigenschwingung (30) in der Brennkammer (4) erreicht.



DE 197 04 540 C 1

DE 197 04 540 C 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur aktiven Dämpfung einer Verbrennungsschwingung in einer Brennkammer sowie eine entsprechende Verbrennungsvorrichtung.

In dem Artikel "Aktive Dämpfung selbsterregter Brennkammerschwingungen" (AIC) bei Druckzerstäuberbrennern durch Modulation der flüssigen Brennstoffzufuhr von J. Herrmann, D. Vortmeyer und S. Gleiß, VDI-Berichte Nr. 1090, 1993 ist beschrieben, wie eine Verbrennungsschwingung in einer Brennkammer entsteht und wie sie aktiv gedämpft werden kann. Bei Verbrennungen in einer Brennkammer kann es zu einer selbsterregten Verbrennungsschwingung kommen, die auch als Verbrennungs-Instabilität bezeichnet wird. Eine solche Verbrennungsschwingung entsteht durch die Wechselwirkung zwischen einer schwankenden Leistungsfreisetzung bei der Verbrennung und der Akustik der Brennkammer. Eine Verbrennungsschwingung geht häufig einher mit einer hohen Lärmemissionen und einer mechanischen Belastung der Brennkammer, die bis zu einer Zerstörung von Bauteilen führen kann. Eine aktive Dämpfung einer Verbrennungsschwingung wird dadurch erreicht, daß ein Stellglied (Piezoaktuator) die einem Brenner zugeführte Brennstoffmenge moduliert. Ein Mikrofon nimmt die akustischen Schwingungen in der Brennkammer auf. Aus dem Mikrofonsignal wird ein Regelsignal für die Regelung der Modulation der zugeführten Brennstoffmenge so abgeleitet, daß die Modulation der zugeführten Brennstoffmenge antizyklisch zur Verbrennungsschwingung erfolgt.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein einfaches Verfahren zur aktiven Dämpfung einer Verbrennungsschwingung in einer Brennkammer anzugeben. Weitere Aufgabe der Erfindung ist es, eine Verbrennungsvorrichtung anzugeben, bei der auf eine einfache Art und Weise eine aktive Dämpfung einer Verbrennungsschwingung möglich ist.

Die auf das Verfahren gerichtete Aufgabe wird gelöst durch Angabe eines Verfahrens zur aktiven Dämpfung einer Verbrennungsschwingung in einer Brennkammer, wobei die Verbrennungsschwingung durch mindestens zwei Stellglieder, die je eine Stellgröße beeinflussen, gedämpft wird, und wobei an mindestens einer Meßstelle eine Meßgröße bestimmt wird, wobei eine Ansteuerung der Stellglieder über eine Anzahl von Meßgrößen erfolgt, die kleiner ist als die Anzahl der Stellglieder. Dieses Verfahren ermöglicht es, mit einem geringen Meßaufwand eine Regelung zur aktiven Dämpfung einer Verbrennungsschwingung durchzuführen. Mit Stellgröße ist eine Systemgröße gemeint, die durch eine physikalische Größe beschrieben wird, z. B. eine an einer bestimmten Stelle zugeführte Menge an Brennstoff. Eine andere Stellgröße wäre in diesem Sinne z. B. eine an einer anderen Stelle zugeführte Brennstoffmenge oder z. B. eine Menge an zugeführter Verbrennungsluft. Ein Stellglied ist entsprechend nicht zwingend als eine apparative Einheit aufzufassen. Die Bezeichnung Stellglied kann auch zwei oder mehrere Mittel umfassen, die gemeinsam eine Stellgröße beeinflussen, z. B. zwei Lautsprecher, die gemeinsam einen Verbrennungsluftmassenstrom modulieren.

Der Verbrennung wird Brennstoff und Verbrennungsluft zugeführt, wobei bevorzugt als Stellgröße eine Menge von der Verbrennung zugeführtem Brennstoff und/oder eine Menge von der Verbrennung zugeführter Verbrennungsluft verwendet werden, wobei aber auch gleichzeitig andere Stellgrößen verwendet werden können. Bevorzugt wird der Brennstoffmassenstrom und/oder der Verbrennungsluftmassenstrom moduliert. Damit ist es möglich, die aktive Dämpfung einer Verbrennungsschwingung über die Modulation der zugeführten Brennstoffmenge und/oder der zugeführten

Verbrennungsluftmenge durchzuführen.

Bei einer Verbrennungsschwingung bildet sich in der Brennkammer eine akustische Eigenschwingung bzw. ein Schallfeld aus. Ein Schallfeld ist durch charakteristische Schallfeldgrößen, wie z. B. Schalldruck und Schallschnelle gekennzeichnet, deren zeitliche Verläufe gewisse periodische Regelmäßigkeiten aufweisen. Ein Schallfeld weist typischerweise räumliche Bereiche auf, innerhalb derer die Schallfeldgrößen mit unterschiedlichen Amplituden periodisch schwingen. Schallfeldgrößen in verschiedenen räumlichen Bereichen des Schallfeldes sind in ihren Schwingungen zueinander zeitlich, in einer für das Schallfeld charakteristischen Weise verschoben, sie weisen also eine charakteristische Phasenverschiebung auf. Weisen die beschriebenen räumlichen Bereiche eine gewisse Regelmäßigkeit in ihren Merkmalen auf, so spricht man von Symmetrie des Schallfeldes.

Bevorzugt werden genau so viele Meßgrößen bestimmt, wie es für eine Charakterisierung der Eigenschwingung erforderlich ist. Weiterhin bevorzugt wird die Ansteuerung mindestens eines Stellgliedes über die Symmetrie der akustischen Eigenschwingung ermittelt. Mithilfe einer Anzahl von Meßgrößen wird die akustische Eigenschwingung charakterisiert. Aus dieser Kenntnis des vorliegenden Schallfeldes wird über die Symmetrie der akustischen Eigenschwingung in der Brennkammer die Regelung der Stellglieder abgeleitet, indem die jeweilige räumliche Position berücksichtigt wird, an der ein Stellglied die Verbrennungsschwingung beeinflusst. Mit der Charakterisierung der akustischen Eigenschwingung ist bekannt, welche Phase und Amplitude die Verbrennungsschwingung am Ort eines Eingriffs eines Stellglieds aufweist. Damit ergibt sich die für die Dämpfung der Verbrennungsschwingung erforderliche Regelung jedes Stellglieds. Die Anzahl an Meßstellen ist mithin nur durch die zur Charakterisierung der Eigenschwingung nötige Anzahl an Meßstellen festgelegt.

Weiterhin bevorzugt werden die Stellglieder antizyklisch zur Verbrennungsschwingung angesteuert. Eine antizyklische Ansteuerung bewirkt eine besonders effiziente Dämpfung der Verbrennungsschwingung. Eine antizyklische Ansteuerung bezeichnet eine zur selbsterregten Verbrennungsschwingung invertierte Schwankung der Stellgröße. Für eine harmonische Verbrennungsschwingung bedeutet dies, daß die Stellgröße mit gleicher Frequenz, jedoch gegenphasig aufgeprägt wird.

Bevorzugtermaßen wird das Verfahren in einer Ringbrennkammer einer Gasturbine angewendet. Eine Ringbrennkammer einer Gasturbine weist eine relativ große Zahl von Brennern auf, die jeweils eine Verbrennungsschwingung erregen können. Es ist wünschenswert, für jeden Brenner mit einem eigenen Stellglied eine aktive Dämpfung einer Verbrennungsschwingung durchführen zu können. Die Anzahl an zu bestimmenden Meßgrößen für diese Stellglieder kann klein gehalten werden.

Die auf eine Verbrennungsvorrichtung gerichtete Aufgabe wird gelöst durch Angabe einer Verbrennungsvorrichtung mit mindestens einem Brenner in einer Brennkammer sowie mit mindestens einer Modulationsvorrichtung, die:

- a) einen Sensor zur Erfassung einer die Verbrennungsschwingung charakterisierenden Meßgröße,
 - b) einen Regler zur Umwandlung eines Signales des Sensors in ein Regelsignal und
 - c) ein Stellglied zur Modulation einer Stellgröße umfaßt,
- wobei insgesamt mindestens zwei Stellglieder zur Modulation je einer Stellgröße vorhanden sind und wobei die Anzahl an Sensoren kleiner ist, als die Anzahl an

Stellgliedern.

Dabei können zwei oder mehr Stellglieder dadurch vorhanden sein, daß eine Modulationsvorrichtung zwei oder mehr Stellglieder umfaßt oder dadurch, daß zwei oder mehr Modulationsvorrichtungen vorhanden sind. Mit dieser Verbrennungsvorrichtung ist es möglich, die notwendige Anzahl von Reglern und Sensoren zu reduzieren und somit mit geringen konstruktivem Aufwand eine aktive Dämpfung einer Verbrennungsschwingung durchzuführen. Die so erzielte Einsparung an Sensoren und Reglern führt zu erheblichen Kosteneinsparungen.

Bevorzugtermaßen weist ein Brenner jeweils eine Brennstoffzuführung und eine Verbrennungsluftzuführung auf, wobei mindestens ein Stellglied mit der Brennstoffzuführung oder mit der Verbrennungsluftzuführung verbunden ist. Damit ist es möglich, die Dämpfung einer Verbrennungsschwingung durch eine Regelung der zugeführten Brennstoffmenge oder der zugeführten Verbrennungsluftmenge durchzuführen. Gleichzeitig kann auch ein Stellglied oder können mehrere Stellglieder eine andere Stellgröße oder andere Stellgrößen modulieren.

Bevorzugtermaßen sind die Brenner Hybridbrenner, umfassend jeweils einen Vormischbrenner und einen Pilotbrenner. Das Prinzip eines Hybridbrenners ist beschrieben in dem Artikel "Progress in NO_x and CO Emission Reduction of Gas Turbines", H. Maghon, P. Behrenbrink, H. Termuehlen und G. Gartner, ASME/IEEE Power Generation Conference, Boston, October 1990, worauf hiermit explizit Bezug genommen wird.

Bevorzugtermaßen ist die Brennkammer eine Ringbrennkammer einer Gasturbine.

Das Verfahren zur aktiven Dämpfung einer Verbrennungsschwingung und die entsprechende Verbrennungsvorrichtung werden beispielhaft anhand der Zeichnung näher erläutert.

Die einzige Figur zeigt schematisch eine entlang einer Achse 31 gerichtete Gasturbine 33. Ein Verdichter 2 ist strömungstechnisch verbunden mit einer Turbine 3. Zwischen Verdichter 2 und Turbine 3 ist eine Verbrennungsvorrichtung 1 geschaltet. Die Verbrennungsvorrichtung 1 besteht aus einer Brennkammer 4, in die Hybridbrenner 5 münden. Jeder Hybridbrenner 5 ist aufgebaut aus einem konusförmigen Vormischbrenner 6, der gleichzeitig eine Verbrennungsluftzuführung 6a bildet. Der Vormischbrenner 6 umgibt einen Pilotbrenner 7 mit eigener Verbrennungsluftzuführung 7a. Jedem Vormischbrenner 6 wird Brennstoff 28 über eine Brennstoffzuleitung 23 zugeführt. Jedem Pilotbrenner 7 wird Brennstoff 28 über eine Brennstoffzuleitung 24 zugeführt. Die Hybridbrenner 5 sind zum einen Teil in der Brennkammer 4, zum anderen Teil in einer der Brennkammer 4 benachbarten Vorkammer 4a angeordnet. In jede Brennstoffzuleitung 24 der Pilotbrenner 7 ist ein Stellglied 8 eingebaut. Die Stellglieder 8 sind elektrisch verbunden mit einer gemeinsamen Regellogik 9. Diese ist elektrisch verbunden mit einem Regler 10. Der Regler 10 ist wiederum elektrisch verbunden mit einem Drucksensor 11, insbesondere einem Piezodruckaufnehmer 11. Der Drucksensor 11 ist an einer Meßstelle 11a in der Brennkammer 4 angeordnet.

Beim Betrieb der Gasturbine 1 wird Verbrennungsluft 29 im Verdichter 2 komprimiert und über einen Kanal 21 in die Vorkammer 4a geleitet. Aus der Vorkammer 4a gelangt die Verbrennungsluft 29 in die Luftzufuhrkanäle 6a, 7a der Vormischbrenner 6 und der Pilotbrenner 7. Über die Brennstoffzuleitungen 24 wird den Pilotbrennern 7 Brennstoff 28 zugeführt und in der Verbrennungsluft 29 als Pilotflamme verbrannt. Den Vormischbrennern 6 wird Brennstoff 28 über

die Brennstoffzuleitungen 23 zugeführt und mit der Verbrennungsluft 29 vermischt. Das in die Brennkammer 4 tretende Brennstoff-Luft-Gemisch entzündet sich an der Pilotflamme. Durch eine Wechselwirkung mit der Akustik der Brennkammer 4 kann sich eine Verbrennungsschwingung ausbilden. Eine solche Verbrennungsschwingung verursacht eine akustische Eigenschwingung 30 bzw. ein Schallfeld 30 in der Brennkammer 4. Mit dem Drucksensor 11 wird diese akustische Eigenschwingung 30 gemessen. Der Drucksensor 11 gibt ein Meßsignal aus. Dieses Meßsignal wird im Regler 10 in ein Regelsignal umgewandelt. Aus diesem Regelsignal wird mit Hilfe der Regellogik 9 eine Ansteuerung für die Stellglieder 8 ermittelt. Dabei ergibt sich die Ansteuerung aus der räumlichen Position eines Brenners 5 und aus der Symmetrie der akustischen Eigenschwingung 30. Die Brennstoffzuführung für die Pilotbrenner 7 wird antizyklisch zur Verbrennungsschwingung geregelt, daß heißt, der Brennstoffmassenstrom jedes Pilotbrenners 7 wird so moduliert, daß sich die in die Brennkammer 4 eingedüste Brennstoffmenge am Ort der Flamme bzw. der Verbrennungszone des jeweiligen Pilotbrenners 7 gegenphasig und mit gleicher Frequenz wie die Verbrennungsschwingung am Ort der Flamme zeitlich ändert. Damit ergibt sich eine Dämpfung der Verbrennungsschwingung. Die Ansteuerung der Stellglieder 8 erfordert also eine Messung an nur einer Meßstelle 11a. Ein Sensor 11 und ein Regler 10 werden eingespart. Man erhält ein einfaches Verfahren zur aktiven Dämpfung einer Verbrennungsschwingung sowie eine konstruktiv einfache Verbrennungsvorrichtung, in der eine aktive Dämpfung einer Verbrennungsschwingung durchführbar ist. Das Verfahren ist insbesondere auch für eine Brennkammer 4 mit mehr als zwei Brennern 5 geeignet, etwa für eine Ringbrennkammer, oder für eine Silobrennkammer mit z. B. acht Brennern. Vorzugsweise ist die Anzahl an Sensoren 11 und Reglern 10 so groß, wie es für die Charakterisierung der akustischen Eigenschwingung 30 gerade erforderlich ist.

Patentansprüche

1. Verfahren zur aktiven Dämpfung einer Verbrennungsschwingung in einer Brennkammer (4), wobei die Verbrennungsschwingung durch mindestens zwei Stellglieder (8), die je eine Stellgröße beeinflussen, gedämpft wird und wobei an mindestens einer Meßstelle (11a) eine die Verbrennungsschwingung charakterisierende Meßgröße bestimmt wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß eine Ansteuerung der Stellglieder (8) über eine Anzahl von Meßgrößen erfolgt, die kleiner ist als die Anzahl an Stellgliedern (8)
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Stellgröße eine Menge von der Verbrennung zugeführtem Brennstoff (28) oder einer Menge von der Verbrennung zugeführter Verbrennungsluft (29) verwendet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß sich in der Brennkammer (4) eine akustische Eigenschwingung (30) ausbildet, wobei genau so viele Meßgrößen bestimmt werden, wie es für eine Charakterisierung der Eigenschwingung erforderlich ist.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß sich in der Brennkammer (4) eine akustische Eigenschwingung (30) ausbildet, die über eine Anzahl an Meßgrößen charakterisiert wird, wobei die Ansteuerung mindestens eines Stellgliedes (8) über die Symmetrie der akustischen Eigenschwingung (30) ermittelt wird.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche

che, dadurch gekennzeichnet, daß die Stellglieder (8) antizyklisch zur Verbrennungsschwingung angesteuert werden.

6. Anwendung des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche in einer Ringbrennkammer (4) einer Gasturbine (1) 5

7. Verbrennungsvorrichtung (1) mit mindestens einem Brenner (5) in einer Brennkammer (4) sowie mit mindestens einer Modulationsvorrichtung, wobei die Modulationsvorrichtung umfaßt: 10

a) einen Sensor (11) zur Erfassung einer die Verbrennungsschwingung charakterisierenden Meßgröße,

b) einen Regler (10) zur Umwandlung eines Signals des Sensors (11) in ein Regelsignal, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens zwei Stellglieder (8) zur Modulation je einer Stellgröße vorhanden sind und die Anzahl an Sensoren (11) kleiner ist, als die Anzahl an Stellgliedern (8). 15

8. Verbrennungsvorrichtung (1) nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß jeder Brenner (5) jeweils eine Brennstoffzuführung (23, 24) und eine Verbrennungsluftzuführung (6, 7) aufweist, wobei mindestens ein Stellglied (8) mit der Brennstoffzuführung (23, 24) und/oder mit der Verbrennungsluftzuführung (6, 7) 20 verbunden ist. 25

9. Verbrennungsvorrichtung (1) nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß der mindestens eine Brenner (5) ein Hybridbrenner (5) ist, umfassend jeweils einen Vormischbrenner (6) und einen Pilotbrenner (7). 30

10. Verbrennungsvorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Brennkammer (4) eine Ringbrennkammer (4) einer Gasturbine (33) ist. 35

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

40

45

50

55

60

65

